

PENDUGAAN DENSITAS KARBON TEGAKAN HUTAN ALAM DI KABUPATEN JAYAPURA, PAPUA (*Carbon Density Estimation of Natural Forest Stand in Jayapura Regency, Papua*)

Oleh/By :

Sandhi Imam Maulana

Balai Penelitian Kehutanan Manokwari

Jl. Inamberi, Susweni PO BOX 159, Manokwari 98313-Papua Barat

Telp. (0986) 213437, Fax (0986) 213441

ABSTRACT

This research aims at providing carbon density of natural forest stand data, in order to support the implementation of REDD mechanism in Jayapura District, Papua. There are five carbon pools measured (aboveground biomass, belowground biomass, dead wood, litter and soil organic matters) in nine different forest classes. The highest carbon density is in Medium Crown Density Hilly Forest Class with about 419.74 tonC/ha, and the lowest is in Non-Forest Class, which is oil palm plantation with about 80.09 tonC/ha.

Keywords: *Natural forest stand, carbon density, deforestation, forest degradation*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan data densitas karbon pada tegakan hutan alam, dalam rangka mendukung implementasi mekanisme REDD di Kabupaten Jayapura, Papua. Pengukuran dilaksanakan terhadap lima kelompok simpanan karbon (biomassa di atas tanah, biomassa di bawah tanah, kayu mati, serasah dan bahan organik tanah) pada sembilan kelas hutan yang berbeda. Densitas karbon tertinggi terdapat pada Kelas Hutan Perbukitan Sedang sebesar 419.74 tonC/ha, dan terendah pada Kelas Non-hutan yang merupakan perkebunan kelapa sawit sebesar 80.09 tonC/ha.

Kata kunci: Tegakan hutan alam, densitas karbon, deforestasi, degradasi hutan

I. PENDAHULUAN

Konsentrasi CO₂ di atmosfer telah meningkat 35% semenjak era pra-industri, dimana 18% dari jumlah peningkatan tersebut disebabkan oleh deforestasi dan degradasi hutan. Sekitar 75% deforestasi dan degradasi hutan terjadi di wilayah negara-negara berkembang dengan hutan tropis yang luas, seperti Brazil, Indonesia, Malaysia, Papua New Guinea, Gabon, Kosta Rika, Kamerun, Republik Kongo dan Republik Demokratik Kongo (IPCC, 2007). Menurut FAO (2006), 13 juta hektar hutan tropis hilang setiap tahunnya, sementara 7.3 juta hektar telah mengalami berbagai tingkat degradasi hutan per tahunnya. Emisi global dari *land use, land use change and forestry* telah mencapai 1.65 Gt karbon per tahun. Pada tahun 2000-2005 setidaknya luas hutan bruto yang hilang di Provinsi Papua mencapai 92.582 hektar (IFCA, 2008).

Ketika negara-negara maju berjuang mengurangi tingkat emisi mereka yang tinggi melalui berbagai teknologi baru dan pembangunan bersih, negara-negara berkembang dapat berkontribusi dalam upaya mitigasi melalui pemilihan sistem pembangunan ekonomi yang tidak lagi bergantung terhadap konversi hutan. Indonesia, sebagai pemimpin dari koalisi 18 negara-negara hutan hujan (Rain Forest Countries), dan menjadi tuan rumah dari 13th Convention of the Parties (COP 13) UNFCCC di Bali pada bulan Desember 2007, telah menerima tanggung jawab untuk mempersiapkan berbagai analisa teknis substansial REDD dalam rangka implementasi konsep REDD setelah periode komitmen pertama Protokol Kyoto berakhir pada tahun 2012.

Kredit karbon pada REDD berbeda dengan A/R CDM, pada mekanisme REDD kredit karbon tidak hanya didapatkan dari pertumbuhan pohon-pohon baru tetapi juga dari upaya menghindari terjadinya deforestasi dan mengurangi jumlah stok karbon yang hilang akibat degradasi ekosistem hutan. Implementasi mekanisme REDD diharapkan akan menarik tingkat investasi yang lebih tinggi daripada proyek-proyek A/R CDM karena ada suatu perbedaan fundamental pada cara pengurangan level karbon di atmosfer. Proyek A/R CDM menyerap karbon dari atmosfer dan mendatangkan kredit karbon temporer, sedangkan proyek REDD menghindari adanya emisi karbon ke atmosfer dengan menjaga stok karbon yang ada dan mendatangkan suatu pengurangan emisi permanen. Penjagaan terhadap nilai penting konservasi, pengelolaan hutan lestari, serta peningkatan stok karbon melalui penanaman pengayaan juga tercakup dalam mekanisme REDD-plus.

Produksi kredit karbon REDD membutuhkan implementasi suatu set tahapan yang menuntut adanya berbagai institusi dan kegiatan praktek lapangan baru. Karena REDD beroperasi berdasarkan pendekatan nasional dan diimplementasikan pada tingkat sub-nasional (provinsi/kabupaten/unit manajemen), berbeda dengan CDM yang diimplementasikan dengan pendekatan proyek (*project based*). Oleh karena itu, untuk mendukung implementasi REDD diperlukan suatu pengukuran densitas karbon setidaknya pada level kabupaten agar didapatkan data yang lebih akurat pada level nasional.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan data densitas karbon pada tegakan hutan alam, dalam rangka mendukung implementasi mekanisme REDD di Kabupaten Jayapura, Papua.

II. METODOLOGI

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Kegiatan penelitian dilaksanakan di Distrik Yapsi, Kaureh dan Unurum Guay, Kabupaten Jayapura, yang dilaksanakan pada bulan Mei-Agustus 2009. Peta lokasi penelitian dapat dilihat dalam Lampiran 1. Adapun alasan pemilihan lokasi tersebut adalah sebagai berikut:

1. Kawasan hutan tersebut masih memiliki tutupan hutan (*forestcover*) yang baik dan tidak merupakan kawasan APL (Areal Penggunaan Lain).
2. Bukan kawasan yang telah ditetapkan atau telah mendapat persetujuan pemerintah pusat (c.q. Kementrian Kehutanan) sebagai kawasan perkebunan besar (umumnya untuk kelapa sawit)
3. Mencakup sejumlah kawasan daerah aliran sungai yang penting untuk

dilindungi kawasan hutan yang juga masuk ke dalam kawasan lindung dari proyek pembangunan PLTA yang sedang dibangun di Kabupaten Jayapura

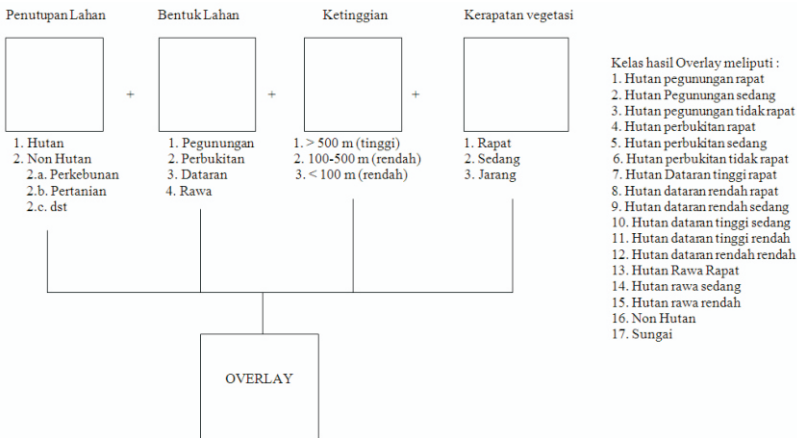
4. Daerah tersebut merupakan kesatuan luas kawasan hutan yang utuh, yang tidak terfragmentasi baik oleh pemukiman ataupun proyek pembangunan lainnya.
5. Batas-batasnya dipilih dengan juga memperhatikan usulan batas kawasan KPHP (Kawasan Pengelolaan Hutan Produksi) yang dibuat oleh Dinas Kehutanan Provinsi Papua-BPKH) dan Juga Peta Rencana Tata Ruang Kabupaten.

B. Bahan dan Alat

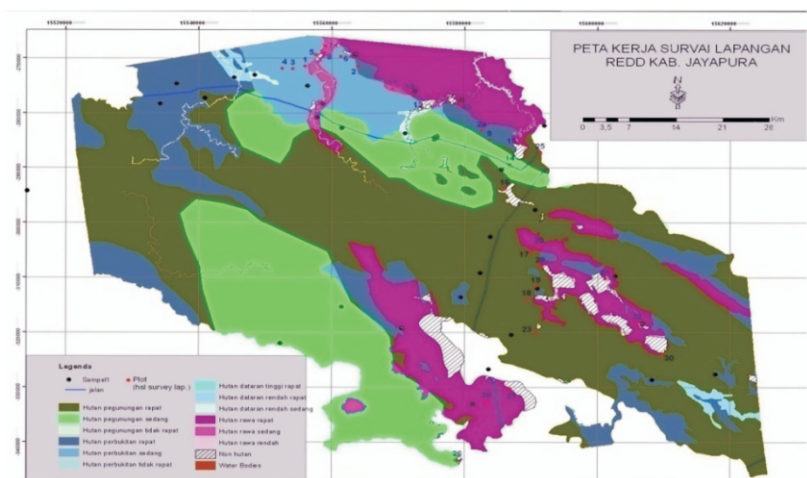
Adapun berbagai bahan dan alat yang dipakai dalam penelitian ini adalah citra penginderaan jauh (Landsat ETM+, ALOS-PALSAR, DEM-ASTER), peta *landsystem* Kabupaten Jayapura, Peta lokasi KPH, HPH dan HTI di Kabupaten Jayapura, phiband (alat ukur diameter pohon), haga hypsometer (alat ukur tinggi pohon), kuadran ukuran 0.5m x 0.5m, timbangan, golok dan alat tulis.

C. Pengumpulan Data

Untuk mengetahui densitas karbon dari biomassa di atas tanah, biomassa di bawah tanah, kayu mati, serasah dan bahan organik tanah, dilaksanakan pengukuran langsung di lapangan menggunakan metode penarikan contoh “*Systematic Random Sampling*”. Penentuan ukuran contoh dalam metode penarikan contoh ini menggunakan alokasi sebanding (*proportional allocation*), sehingga setiap stratum memiliki jumlah unit contoh yang sebanding dengan ukurannya. Dikarenakan kualitas citra yang kurang baik, maka proses interpretasi citra sepenuhnya secara visual dengan tahapan dapat dilihat dalam Gambar 1. Jumlah total unit



Gambar (Figure) 1. Tahapan Penyusunan Peta Kerja (*Work Map Development Phase*)



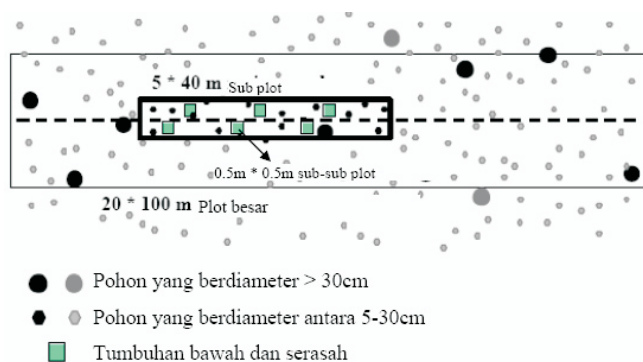
Gambar (Figure) 2. Peta Kerja Pengukuran Lapangan (*Measuring Site Map*)

1. Pengukuran Biomasa di Atas Permukaan Tanah

Pada dasarnya pengukuran biomassa di atas tanah mencakup tiga tahap kegiatan, yaitu:

- Membuat plot contoh pengukuran (transek pengukuran).
- Mengukur biomassa pohon.
- Mengukur biomassa tumbuhan bawah

Untuk mengurangi kerusakan selama proses pengukuran, biomassa pohon dapat diestimasi dengan menggunakan persamaan alometrik (*non-destructive*), sehingga pada plot pengukuran hanya perlu mencatat dbh, tinggi total pohon dan jenis pohon, selain itu juga perlu diambil sampel kayu berukuran $3 \times 3 \times 3 \text{ cm}^3$ untuk mengetahui berat jenis aktual kayu. Sedangkan tumbuhan bawah dilakukan secara destruktif pada sub-sub plot ukuran $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$. Bentuk plot pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar (Figure) 3. Bentuk Plot Pengukuran (*Measuring Plot Shape*)

Persamaan-persamaan allometrik yang digunakan untuk pengukuran biomassa pohon merupakan persamaan-persamaan allometrik yang sesuai untuk pengukuran karbon tersimpan di kawasan hutan tropis Papua seperti yang disarankan oleh Hairiah dan Rahayu (2007).

2. Pengukuran Biomasa di Bawah Permukaan Tanah

Di daerah tropika basah, karbon tersimpan dalam akar sering diabaikan walaupun jumlahnya cukup besar. Hal ini disebabkan oleh sulitnya pengukuran akar di lapangan, karena melibatkan perusakan lahan dan membutuhkan waktu serta tenaga yang banyak. Sama halnya dengan biomassa pohon, biomassa akar juga dapat diestimasi dengan menggunakan persamaan alometrik berdasarkan diameter akar utama (Hairiah *et al.*, 2001).

Namun untuk tujuan praktis, pendugaan simpanan karbon pada akar pohon di hutan tropika basah dapat menggunakan pendekatan nilai terpasang (*default value*) nisbah tajuk:akar, yaitu 4:1 untuk pohon di lahan kering, 10:1 untuk pohon di lahan basah dan 1:1 untuk pohon di tanah-tanah miskin (Hairiah *et al.*, 2001).

3. Pengukuran Biomasa Kayu Mati (Nekromasa Berkayu)

Biomasa kayu mati juga dikenal dengan istilah nekromasa berkayu. pengukuran dilakukan pada diameter dan panjang semua pohon mati yang berdiri maupun yang roboh, tunggul tanaman mati, cabang dan ranting. Kemudian diambil sedikit contoh kayu ukuran 3 x 3 x 3 cm³, ditimbang berat basahnya, dimasukkan dalam oven 80°C selama 48 jam untuk menghitung berat jenisnya.

4. Pengukuran Biomasa Serasah (Nekromasa Tak Berkayu)

Serasah meliputi bagian tanaman yang telah gugur berupa daun dan ranting-ranting yang terletak di atas permukaan tanah, serasah juga dikenal dengan istilah nekromasa tak berkayu. Pengumpulan data biomasa pada nekromasa tidak berkayu dibedakan antara pengambilan contoh serasah kasar dan serasah halus. Serasah kasar mencakup ranting-ranting dan dedaunan yang masih utuh yang tergeletak di permukaan tanah, sedangkan serasah halus berupa bahan organik lainnya yang telah terdekomposisi sebagian dan berukuran lebih dari 2 mm. Adapun pengambilan contoh untuk serasah kasar menggunakan kuadran. Contoh serasah kasar dan serasah segar langsung diambil setelah pengambilan contoh biomasa tumbuhan bawah. Kemudian contoh serasah tersebut dikeringkan di bawah sinar matahari dan diambil sub contoh serasah sekitar 100-300 gram. Sub-contoh tersebut dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 48 jam.

Sedangkan langkah-langkah pengambilan contoh untuk serasah halus dan akar halus dimulai dengan mengambil semua serasah halus yang terletak di permukaan tanah yang terdapat dalam kuadran. Kemudian semua serasah halus yang terdapat pada kuadran dimasukan ke dalam ayakan dengan lubang pori 2 mm. Semua serasah halus dan akar yang tertinggal di atas ayakan diambil dan ditimbang berat basahnya (BB per kuadran). Diambil 100 g sub-contoh serasah halus, dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 48 jam untuk mengetahui berat keringnya.

5. Pengambilan Contoh Tanah

Pengambilan contoh tanah dilakukan pada tiga tingkat kedalaman, yakni 0-10 cm, 10-20 cm dan 20-30 cm. Contoh tanah yang dianalisa di laboratorium merupakan contoh tanah komposit yang diambil dari enam ulangan titik pengambilan contoh tanah untuk masing-masing plot. Pengukuran yang dilakukan adalah berat isi (BI) tanah, tekstur dan pH tanah. Ada dua macam contoh tanah yang diambil yaitu:

- a. Pengambilan contoh tanah terganggu (*disturbed*), contoh tanah yang diambil dengan cara ini digunakan untuk analisis kimia tanah, seperti pH dan C organik. Contoh tanah yang dianalisis merupakan campuran dari sub contoh tanah yang diambil dari berbagai titik contoh yang berbeda.
- b. Pengambilan contoh tanah tak terganggu (*undisturbed*), contoh tanah yang diambil melalui cara ini digunakan untuk analisis sifat fisik tanah, yaitu berat isi yang penting untuk konversi berat kering tanah ke volumenya.

D. Pengolahan Data

1. Pengolahan Data Biomasa Pohon

Perhitungan biomasa pohon menggunakan persamaan-persamaan alometrik yang telah dikembangkan oleh peneliti-peneliti sebelumnya (Tabel 1) yang pengukurannya diawali dengan penebangan dan penimbangan sampel-sampel pohon. Kemudian jumlahkan biomasa semua pohon yang ada pada suatu lahan, baik yang ukurannya besar maupun yang kecil, sehingga diperoleh total biomasa pohon per lahan (kg/luasan lahan). Khusus untuk kelapa sawit, perhitungan biomasanya menggunakan persamaan alometrik berdasarkan pendekatan tinggi totalnya, yakni $BK = 0.0976T(m) + 0.0706$, dimana hasilnya dinyatakan dalam ton per tanaman (Dewi *et al.*, 2009).

Tabel 1. Estimasi Biomasa Pohon Menggunakan Persamaan Allometrik
Table 1. Estimatum of Tree Biomass using Allometric equation

Jenis Pohon	Estimasi Biomasa Pohon (kg/pohon)	Sumber
Pohon bercabang	$BK = 0.11 * \rho * D^{2.62}$	Ketterings (2001)
Pohon tidak bercabang	$BK = \pi * \rho * H * D^2 / 4$	Hairiah <i>et al.</i> , (1999)

Keterangan:

BK = Berat Kering; D = Diameter Pohon (cm); $\pi = 3.14$
H = Tinggi Pohon (m); $\rho = BJ \text{ kayu (g/cm}^3\text{)}$

2. Pengolahan Data Biomasa Akar

Seperti pendekatan yang digunakan dalam pendugaan biomasa pohon dengan persamaan allometrik berdasarkan diameter batang, biomasa akar juga dapat diduga berdasarkan diameter akar-akar utamanya. Dasar teoritis dari pendekatan ini adalah adanya pola hubungan geometrik antara percabangan pohon dengan sistem perakarannya (Hairiah *et al.*, 2001). Oleh karena itu perhitungan biomassa per kelas tutupan lahan menggunakan pendekatan sebagai berikut:

Biomasa Akar Pohon $= \sum_i aD_i^b$
 $= \text{Aboveground tree biomass} / SR \text{ ratio}$

Dimana: a, b = Parameter persamaan allometrik akar
 D_i = Diameter akar utama

Nilai terpasang (*default value*) *shoot:root ratio* (SR ratio) di daerah tropis adalah 4 untuk pohon-pohon di lahan kering (tidak tergenang air secara berkelanjutan), 10 untuk pohon-pohon di lahan basah (rawa-rawa) dan 1 untuk pohon di tanah-tanah miskin hara, seperti di lahan kelapa sawit (Hairiah *et al.*, 2001).

3. Pengolahan Data Biomasa Tumbuhan Bawah

Perhitungan total berat kering tumbuhan bawah per kuadran menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Total BK (g)} = [\text{BK sub contoh (g)} / \text{BB sub contoh (g)}] \times \text{Total BB (g)}$$

Dimana: BK = berat kering; BB = berat basah

4. Pengolahan Data Nekromasa

a. Nekromasa Berkayu

Bentuk dan kondisi nekromasa berkayu/batang pohon mati yang ada di lapangan sangat beragam, oleh karena itu perhitungan beratnya perlu dibedakan. Perhitungan nekromasa berkayu dalam kondisi utuh yang bercabang dilakukan dengan menggunakan rumus allometrik, $\text{BK (kg/nekromassa)} = 0.11 \cdot \rho \cdot D^{2.62}$. Sedangkan untuk nekromasa berkayu yang tidak bercabang dihitung berdasarkan volume silinder sebagai berikut:

$$\text{BK (kg/nekromassa)} = \pi \cdot \rho \cdot H \cdot D^2 / 4$$

Dimana:

BK = Berat Kering; D = Diameter Pohon (cm)

H = Panjang/tinggi nekromasa (cm); $\rho = \text{BJ nekromasa (g/cm}^3\text{)}; \pi = 3.14$

Untuk nekromasa berkayu dengan kondisi tidak utuh, pengukuran beratnya melibatkan penaksiran presentase kondisi tersisa dikalikan hasil pengukuran kondisi utuhnya. Menurut Hairiah dan Rahayu (2007) BJ untuk nekromasa sekitar 0.4 g/cm^3 , namun dapat juga bervariasi tergantung pada kondisi pelapukannya. Semakin lanjut tingkat pelapukannya, maka BJ semakin rendah. Pengolahan data nekromasa berkayu sama caranya dengan pengolahan biomasa pohon, yaitu bedakan antara jenis nekromasa besar (diameter >30cm) dan nekromasa sedang (berdiameter 5-30 cm), karena luas plot pengumpulan datanya berbeda.

b. Nekromasa Tidak Berkayu

Estimasi BK serasah kasar, serasah halus dan akar halus per kuadran melalui perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Total BK (g)} = [\text{BK sub contoh (g)} / \text{BB sub contoh (g)}] \times \text{Total BB (g)}$$

Dimana: BK = berat kering; BB = berat basah

5. Penghitungan Jumlah Karbon Tersimpan

Menurut Hairiah dan Rahayu (2007) konsentrasi karbon dalam bahan organik biasanya sekitar 46%, oleh karena itu estimasi jumlah karbon tersimpan per komponen dapat dihitung dengan mengalikan total berat masanya dengan konsentrasi karbon, sebagai berikut:

$$\text{Biomassa Karbon} = \text{Berat Kering Biomassa atau Nekromassa (kg/ha)} \times 0.46$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Stratifikasi Prioritas Area (Kategori Lahan)

Berdasarkan penafsiran citra yang dituangkan dalam Peta Kerja, setidaknya terdapat 13 kelas tutupan lahan. Tetapi stratifikasi kelas tutupan tersebut telah diklasifikasi ulang berdasarkan kondisi aktual di lapangan, sehingga hanya terdapat sembilan kelas tutupan, meliputi:

- Hutan Pegunungan Rapat
- Hutan Pegunungan Sedang
- Hutan Perbukitan Rapat
- Hutan Perbukitan Sedang
- Hutan Dataran Rendah Rapat
- Hutan Dataran Rendah Sedang
- Hutan Rawa Rapat
- Hutan Rawa Sedang
- Non-hutan (Kelapa Sawit)

B. Penentuan Tipe, Jumlah dan Lokasi Plot

Adapun tipe plot pengukuran yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini telah dijelaskan dalam Metodologi Penelitian. Jumlah plot keseluruhan yang diambil adalah 30 plot dengan peletakan lokasi memperhatikan alokasi proporsional terhadap luasan stratum dan penyebarannya. Adapun frekuensi pengambilan plot dan sebaran koordinatnya dapat dilihat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Jumlah dan Lokasi Plot Pengukuran
Table 2. The Number and Location of Measuring Plot

Kelas Tutupan	Titik	Koordinat	
		South	East
Hutan Pegunungan Rapat	9	02°57'535"	139°99'666"
	14	02°61'588"	140°02'409"
	16	02°65'562"	140°01'686"
	25	02°59'629"	140°06'508"
	26	03°15'254"	139°57'206"
Hutan Pegunungan Sedang	17	02°76'104"	140°05'236"
	18	02°83'821"	140°04'631"
	19	02°81'675"	140°05'862"
	20	02°75'132"	140°06'284"
	23	02°89'179"	140°05'861"
Hutan Perbukitan Rapat	1	02°45'321"	139°74'763"
	3	02°87'748"	139°73'070"
	4	02°45'676"	139°71'678"
	24	02°55'971"	139°98'581"
Hutan Perbukitan Sedang	6	02°43'719"	139°79'623"
	21	02°80'456"	140°15'297"
	30	02°92'992"	140°22'980"

Kelas Tutupan	Titik	Koordinat	
		South	East
Hutan Dataran Rendah Rapat	2	02°87'748"	140°19'563"
Hutan Dataran Rendah Sedang	5	02°43'424"	139°76'201"
	7	02°41'940"	139°77'588"
	8	02°43'134"	139°77'354"
	12	02°52'155"	139°90'570"
	15	02°58'069"	140°03'729"
Hutan Rawa Rapat	10	02°49'771"	139°88'840"
	28	03°00'603"	139°99'156"
	13	02°51'792"	139°95'776"
Hutan Rawa Sedang	11	02°49'089"	139°86'563"
	22	02°87'749"	140°19'563"
	29	02°78'340"	140°06'451"
Non-Hutan (Kelapa Sawit)	27	02°98'462"	140°02'325"

C. Perhitungan Biomasa Pada Tiap Kelas Tutupan Lahan

Kriteria pembagian kelas kerapatan tutupan dilaksanakan berdasarkan nilai NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) dengan memanfaatkan band NIR (*Near Infra Red*; Infra Merah Dekat) dan band IR (*Infra Red*; Infra Merah) pada saat interpretasi citra satelit untuk penyusunan peta kerja. Nilai NDVI berkisar antara -1 hingga 1, nilai -1 berarti air (makin negatif makin dalam), nilai 0 berarti tanah gundul, dan nilai 1 berarti tutupan lebat/rapat. Dalam penelitian ini, kelas tutupan dengan nilai $NDVI \geq 0.75$ - 1 digolongkan dalam kondisi vegetasi rapat, dan kelas tutupan dengan nilai $NDVI \geq 0.5$ - <0.75 digolongkan dalam kondisi vegetasi sedang.

Pembagian kondisi kerapatan berdasarkan pendekatan ini mempunyai kekurangan, yakni tidak dapat mengetahui jumlah dan ukuran individu pohon dalam suatu kelas kerapatan, karena hanya berdasarkan pendekatan luasan tutupan tajuk. Hal ini terbukti ketika *ground check* dilaksanakan, dan hasilnya menunjukkan bahwa antara kelas tutupan dengan kondisi vegetasi rapat dan sedang terkadang tidak mempunyai jumlah individu yang konsisten. Seperti yang terlihat antara kelas tutupan Hutan Rawa Rapat dan Hutan Rawa Sedang pada Tabel 3, dimana kelas tutupan Hutan Rawa Sedang mempunyai jumlah individu lebih banyak dari pada kelas tutupan Hutan Rawa Rapat. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, kondisi kerapatan vegetasi tidak berpengaruh langsung terhadap hasil perhitungan biomasa pohonnya, tetapi lebih dipengaruhi dengan sebaran kelas diameter/struktur tegakan dan sebaran berat jenis pada tiap kelas tutupan seperti yang tersaji pada Tabel 4.

Tabel 3. Struktur Tegakan Tiap Kelas Tutupan Lahan
Table 3. Stand Structure of Each Land Cover Class

Kelas Tutupan	Kelas Diameter					
	5 - <10 cm	≥ 10 - <20 cm	≥ 20 - <30 cm	≥ 30 - <40 cm	≥ 40 - <50 cm	≥ 50 cm
Hutan Pegunungan Rapat	340	430	420	22	5	13
Hutan Pegunungan Sedang	280	440	370	87	22	9
Hutan Perbukitan Rapat	475	1338	350	48	8	6
Hutan Perbukitan Sedang	300	717	350	65	13	35
Hutan Dataran Rendah Rapat	500	800	50	15	20	5
Hutan Dataran Rendah Sedang	233	450	317	22	17	10
Hutan Rawa Rapat	450	667	117	30	13	15
Hutan Rawa Sedang	400	950	467	52	12	12

Pada Tabel 4 terlihat bahwa kelas tutupan dengan kerapatan sedang memiliki jumlah pohon dengan diameter ≥ 30 cm lebih banyak daripada kelas tutupan dengan kondisi vegetasi rapat pada selang berat jenis yang sama. Faktor-faktor tersebut mempengaruhi hasil perhitungan biomasa pohon seperti yang tersaji pada Tabel 5, yang memperlihatkan hasil perhitungan biomasa pohon pada kelas tutupan dengan kerapatan sedang cenderung lebih tinggi daripada hasil perhitungan biomasa pohon pada kelas tutupan dengan kondisi vegetasi rapat.

Tabel 4. Struktur Berat Jenis Tiap Kelas Tutupan Lahan
Table 4. Wood Density Structure of Each Land Cover Class

Kelas Tutupan		Sebaran Berat Jenis (gr/cm ³)					Jumlah
		0.2 - <0.4	≥0.4 - <0.6	≥0.6 - <0.8	≥0.8 - <1	≥ 1	
Hutan Pegunungan Rapat	Diameter ≥ 30 cm	6	19	12	0	3	40
	$5 \leq$ Diameter <30 cm	510	470	210	0	0	1190
Hutan Pegunungan Sedang	Diameter ≥ 30 cm	55	46	43	2	2	148
	$5 \leq$ Diameter <30 cm	540	400	120	0	0	1060
Hutan Perbukitan Rapat	Diameter ≥ 30 cm	18	30	13	0	1	61
	$5 \leq$ Diameter <30 cm	813	913	400	0	38	2163
Hutan Perbukitan Sedang	Diameter ≥ 30 cm	17	43	28	7	18	113
	$5 \leq$ Diameter <30 cm	283	783	300	0	0	1367
Hutan Dataran Rendah Rapat	Diameter ≥ 30 cm	10	30	0	0	0	40
	$5 \leq$ Diameter <30 cm	600	750	0	0	0	1350
Hutan Dataran Rendah Sedang	Diameter ≥ 30 cm	10	35	3	0	0	48
	$5 \leq$ Diameter <30 cm	183	783	33	0	0	1000
Hutan Rawa Rapat	Diameter ≥ 30 cm	13	28	7	0	10	58
	$5 \leq$ Diameter <30 cm	317	700	217	0	0	1233
Hutan Rawa Sedang	Diameter ≥ 30 cm	15	28	27	0	5	75
	$5 \leq$ Diameter <30 cm	667	817	333	0	0	1817

Biomasa akar pohon pada masing-masing kelas tutupan dihitung berdasarkan pendekatan nilai terpasang (*default value*) nisbah pohon:akar pada hutan tropika seperti yang telah dijelaskan dalam metodologi penelitian, yaitu 4:1 untuk pohon di lahan kering, 10:1 untuk pohon di lahan basah dan 1:1 untuk pohon di tanah-tanah miskin (Hairiah *et al.*, 2001). Data yang tersaji pada Tabel 5, selanjutnya akan digunakan sebagai dasar perhitungan potensi simpanan karbon pada masing-masing kelas tutupan.

Tabel (Table) 5. Hasil Perhitungan Potensi Biomasa Pada Tipe-Tipe Tutupan Lahan (*Biomass Potention Estimation Result of Each Land Cover Class*)

Kelas Tutupan	Biomasa Pohon (Ton/ha)	Biomasa Akar (Ton/ha)	Tumbuhan Bawah (Ton/ha)	Nekromasa Berkayu (Ton/ha)	Nekromasa Tidak Berkayu (Ton/ha)	Total Biomasa (Ton/ha)
Hutan Pegunungan Rapat	234.10	58.53	2.10	41.93	3.58	340.24
Hutan Pegunungan Sedang	367.12	91.78	1.80	27.98	4.58	493.26
Hutan Perbukitan Rapat	360.45	90.11	2.98	32.62	4.31	490.47
Hutan Perbukitan Sedang	592.53	148.13	2.26	31.91	5.33	780.16
Hutan Dataran Rendah Rapat	119.60	29.90	3.83	32.19	6.56	192.08
Hutan Dataran Rendah Sedang	186.17	46.54	1.97	19.99	4.06	258.74
Hutan Rawa Rapat	265.46	26.55	1.46	37.89	4.05	335.39
Hutan Rawa Sedang	387.88	38.79	2.45	31.56	3.92	464.59
Non-Hutan (Kelapa Sawit)	27.93	27.93	0.98	-	3.07	59.91

D. Pendugaan Potensi Nilai Karbon Sebagai Baseline Data Sesuai Kelas Tutupan Lahan

Pada Tabel 7 dapat dilihat hasil pendugaan potensi nilai karbon pada tipe-tipe tutupan lahan yang telah diklasifikasikan. Menurut Hairiah dan Rahayu (2007) konsentrasi karbon dalam bahan organik biasanya sekitar 46%, oleh karena itu estimasi jumlah karbon tersimpan per komponen dapat dihitung dengan mengalikan total berat masanya dengan konsentrasi karbon.

Simpanan karbon tanah yang terbesar baik pada kedalaman 0-10 cm, 10-20 cm maupun 20-30 cm terdapat pada Hutan Perbukitan Sedang, dimana masing-masing kedalaman tanah tersebut secara berurutan mempunyai potensi simpanan karbon sebesar 23.46 tonC/ha, 19.36 tonC/ha dan 18.05 tonC/ha. Besarnya potensi simpanan karbon dalam tanah dipengaruhi oleh diversitas vegetasi dalam suatu luasan. Diversitas vegetasi tersebut menentukan tinggi rendahnya keragaman kualitas masukan bahan organik dan tingkat penutupan permukaan tanah oleh lapisan seresah. Tingkat penutupan (tebal tipisnya) lapisan seresah pada permukaan tanah berhubungan erat dengan laju dekomposisinya (pelapukannya). Semakin lambat terdekomposisi maka keberadaannya di permukaan tanah menjadi lebih lama (Hairiah *et al.*, 2000). Data rata-rata karbon organik tanah untuk tiap kelas tutupan lahan dan *bulk density*-nya tersaji pada Tabel 6.

Tabel (Table) 6. C-Organik dan Bulk Density Tanah Tiap Kelas Tutupan Lahan (*Soil C-Organic and Bulk Density of Each Land Cover Class*)

Kelas Tutupan Lahan	Kedalaman (cm)	C Organik Tanah (%)	Bulk Density (gr/cc)
Hutan Pegunungan Rapat	10	2.22	0.96
	20	2.01	0.99
	30	1.78	0.97
Hutan Pegunungan Sedang	10	2.20	0.84
	20	1.40	0.99
	30	1.15	1.03
Hutan Perbukitan Rapat	10	1.20	1.14
	20	0.93	1.12
	30	0.72	1.22
Hutan Perbukitan Sedang	10	2.16	1.08
	20	1.62	1.22
	30	1.56	1.25
Hutan Dataran Rendah Rapat	10	0.82	1.00
	20	0.88	0.84
	30	1.09	0.94
Hutan Dataran Rendah Sedang	10	1.80	1.02
	20	1.59	1.02
	30	1.49	1.07
Hutan Rawa Rapat	10	2.17	0.91
	20	1.75	1.00
	30	1.62	1.00
Hutan Rawa Sedang	10	2.16	1.14
	20	1.57	1.18
	30	1.44	1.16
Non-Hutan (Kelapa Sawit)	10	1.67	1.02
	20	1.83	1.02
	30	1.70	0.99

Berdasarkan hasil perhitungan yang termuat dalam Tabel 7, Hutan Perbukitan Sedang memiliki potensi terbesar, yaitu 419.74 ton C/ha. Sedangkan potensi terendah pada Non-hutan (Kelapa Sawit) yang hanya sebesar 80.09 ton C/ha. Rendahnya potensi simpanan karbon pada kelas tutupan Non-hutan, karena pada kelas tersebut didominasi oleh jenis vegetasi monokotil (kelapa sawit) yang tidak berkambium, sehingga kandungan ligninnya sangat rendah dan berpengaruh langsung pada densitas bobot hidupnya.

Selain itu rendahnya kandungan lignin tersebut juga mempercepat laju dekomposisi serasah (nekromasa tidak berkayu) kelapa sawit, yang menyebabkan keberadaannya di atas permukaan tanah relatif singkat dan mengakibatkan permukaan tanah menjadi cepat terbuka. Pada saat terjadi hujan, pukulan air hujan pada tanah yang terbuka dapat meningkatkan kerusakan agregat tanah, sehingga porositas tanah akan berkurang.

Pada tipe non-hutan tersebut tidak terlihat adanya potensi nekromasa berkayu, karena berdasarkan hasil pengamatan di lapangan tidak dijumpai adanya batang pohon atau tunggak yang mati. Berdasarkan pengamatan hanya terdapat serasah berupa daun dan pelepahnya saja, sehingga dimasukkan dalam perhitungan nekromasa tidak berkayu.

Laju dekomposisi serasah ditentukan oleh kualitasnya yaitu nisbah C:N, kandungan lignin dan polyphenol. Serasah dikategorikan berkualitas tinggi apabila nisbah C:N<25, kandungan lignin <15% dan polyphenol <3%, sehingga cepat lapuk (Hairiah *et al.*, 2000).

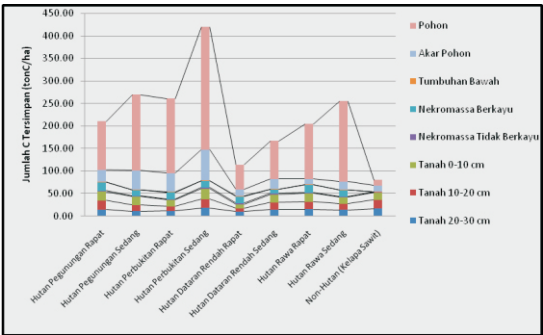
Kandungan lignin yang rendah menyebabkan serasah pada kelapa sawit cepat terdekomposisi, sehingga potensi simpanan karbon pada serasah cenderung lebih rendah daripada kelas tutupan lahan lainnya.

Tabel (Table) 7. Pendugaan Potensi Nilai Karbon Pada Tiap Kelas Tutupan Lahan (*Carbon Potention Estimation of Each Land Cover Class*)

Tipe Lahan	Pohon (tonC/ha)	Akar Pohon (tonC/ha)	Tumbuhan Bawah (tonC/ha)	Nekro-masa Berkayu (tonC/ha)	Nekromasa Tidak Berkayu (tonC/ha)	Karbon Tanah (tonC/ha)			Total C Tersimpan (tonC/ha)
						Tanah 0-10 cm	Tanah 10-20 cm	Tanah 20-30 cm	
Hutan Pegunungan Rapat	107.69	26.92	0.96	19.29	1.65	20.36	18.93	14.97	210.77
Hutan Pegunungan Sedang	168.88	42.22	0.83	12.87	2.11	18.17	13.66	10.90	269.63
Hutan Perbukitan Rapat	165.81	41.45	1.37	15.01	1.98	13.69	10.88	11.22	261.42
Hutan Perbukitan Sedang	272.56	68.14	1.04	14.68	2.45	23.46	19.36	18.05	419.74
Hutan Dataran Rendah Rapat	55.01	13.75	1.76	14.81	3.02	8.20	7.39	10.25	114.19
Hutan Dataran Rendah Sedang	85.64	21.41	0.91	9.20	1.87	18.09	15.36	14.80	167.27
Hutan Rawa Rapat	122.11	12.21	0.67	17.43	1.86	18.12	17.00	15.15	204.55
Hutan Rawa Sedang	178.43	17.84	1.13	14.52	1.80	13.71	14.21	13.74	255.38
Non-Hutan (Kelapa Sawit)	12.85	12.85	0.45	-	1.41	17.03	18.67	16.83	80.09

Selanjutnya, data hasil perhitungan potensi karbon tersebut digunakan sebagai dasar pembuatan diagram yang menyatakan baseline data sesuai tipe tutupan lahan, seperti yang terlihat dalam Gambar 4. Berdasarkan diagram potensi tersebut, terlihat bahwa kerapatan suatu tutupan lahan tidak berpengaruh langsung terhadap tinggi rendahnya potensi simpanan karbonnya.

Tingginya potensi simpanan karbon lebih dipengaruhi oleh komposisi diameter pohon dan sebaran berat jenis vegetasinya. Tipe hutan dengan komposisi jenis pohon berberat jenis tinggi akan mempunyai potensi simpanan yang cenderung lebih tinggi daripada tipe hutan dengan kerapatan tinggi tetapi jenis pohonnya berberat jenis rendah.



Gambar 4. Diagram Potensi Nilai Karbon per (Ha) Kelas Tutupan Lahan
Figure 4. Total Carbon Sink Potention per Ha of Each Land Cover Class

IV. KESIMPULAN

Tulisan ini menunjukkan bahwa tingginya potensi simpanan karbon lebih dipengaruhi oleh komposisi diameter dan berat jenis pohon daripada kerapatan tutupan lahan. Tipe hutan dengan komposisi berberat jenis tinggi akan mempunyai potensi simpanan yang cenderung lebih tinggi daripada tipe hutan dengan kerapatan tinggi tetapi jenis pohonnya berberat jenis rendah. Berdasarkan hasil perhitungan potensi simpanan karbon, Hutan Perbukitan Sedang mempunyai simpanan terbesar mencapai 419.74 tonC/ha. Sedangkan simpanan terkecil berada pada tipe tutupan non-hutan (kelapa sawit) yang hanya mencapai 80.09 tonC/ha.

DAFTAR PUSTAKA

- Dewi, S., Khasanah, N., Rahayu, S., Ekadinata A., and van Noordwijk, M. 2009. *Carbon Footprint of Indonesian Palm Oil Production: a Pilot Study*. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF). Bogor.
- FAO. 2006. Global Forest Resource Assessment 2005 (www.fao.org/forestry/fra 2005)
- Hairiah, K., van Noordwijk, M., Palm, C. A., 1999. Methods for Sampling Above and Below Ground Organics Pool. In: Murdiyarso, D., van Noordwijk, M., and Suyanto, D. A., (eds). *Modelling Global Change Impacts on Soil Environment. ICSEA Report No. 6. SEAMEOBIOTROP-GCTE/ICSEA: 46-77*. Bogor.
- Hairiah, K.; Widiyanto; Utami, S.R.; Suprayogo, D.; Sitompul, S.M.; Sunaryo; Lusiana, B.; Mulia, R.; Van Noordwijk, M. dan G. Cadisch. 2000. *Pengelolaan Tanah Masam Secara Biologi: Refleksi Pengalaman dari Lampung Utara*. ISBN.979-95537-7-6. ICRAF-Bogor. 187 p.
- Hairiah, K. Sitompul, S. M., van Noordwijk, M. and Palm, C. A., 2001. Methods for Sampling Carbon Stocks Above and Below Ground. *ASB Lecture Note 4B*. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF). Bogor.
- Hairiah, K., dan Rahayu, S., 2007. *Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan*. ICRAF. Bogor
- [IFCA] Indonesian Forest Climate Alliance. 2008. *IFCA Consolidation Report*. Ministry of Forestry. Indonesia.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. *Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Ketterings, Q. M., Coe, R., van Noordwijk, M., Ambagau, Y., and Palm, C. A., 2001. Reducing Uncertainty in The Use of Allometric Biomass Equations For Predicting Above-Ground Tree Biomass in Mixed Secondary Forests. *Forest Ecology and Management* 146: 199-209.